



JAPAN PATENT OFFICE

RECEIVED

JUN 11 2002

TC 2600 MAIL ROOM

*Priority  
Paper*  
*J. M. Suley*  
*6-17-02*

This is to certify that the annexed is a true copy  
of the following application as filed with this Office.

Date of Application : October 18, 2001

Application Number : Japanese Patent Application  
No. 2001-321052

[ST. 10/C] : [JP2001-321052]

Applicant(s) : NGK INSULATORS, LTD.

Certified on April 5, 2002

Commissioner,

Japan Patent Office

Kozo OIKAWA (Sealed)

Certification No. 2002-3024700

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日  
Date of Application:

2001年10月18日

出願番号  
Application Number:

特願2001-321052

[ST.10/C]:

[JP2001-321052]

出願人  
Applicant(s):

日本碍子株式会社

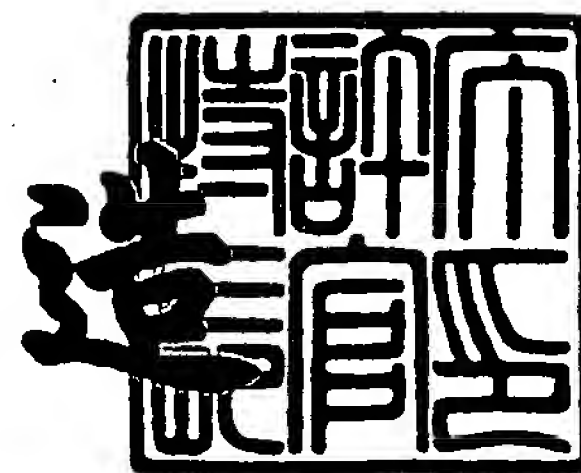
CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

RECEIVED  
JUN 11 2002  
1C 2800 MAIL ROOM

2002年4月5日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3024700

【書類名】 特許願

【整理番号】 01P00530

【提出日】 平成13年10月18日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明の名称】 半導体発光素子

【請求項の数】 17

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式  
社内

    【氏名】 堀 裕二

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式  
社内

    【氏名】 柴田 智彦

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式  
社内

    【氏名】 田中 光浩

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式  
社内

    【氏名】 小田 修

【特許出願人】

    【識別番号】 000004064

    【氏名又は名称】 日本碍子株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100072051

    【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 興作

【選任した代理人】

【識別番号】 100059258

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 暁秀

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-364268

【出願日】 平成12年11月30日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 074997

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703804

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、この基板上に A l を含む、X 線ロッキングカーブにおける半値幅が 9 0 秒以下の第 1 の窒化物半導体からなる下地層と、この下地層上に形成された A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 2 の窒化物半導体からなる第 1 の導電層と、この第 1 の導電層上に形成された A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 3 の窒化物半導体からなる第 1 のクラッド層と、この第 1 のクラッド層上に形成された、A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 4 の窒化物半導体からなる基層中に、A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含み、前記第 3 の窒化物半導体よりも面格子定数の大きい第 5 の窒化物半導体からなる、それぞれが孤立した複数の島状結晶を含んでなる発光層と、この発光層上に形成された A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 6 の窒化物半導体からなる第 2 のクラッド層と、この第 2 のクラッド層上に形成された A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 7 の窒化物半導体からなる第 2 の導電層とを具え、

前記第 1 のクラッド層を構成する前記第 3 の窒化物半導体のバンドギャップ、前記基層を構成する前記第 4 の窒化物半導体のバンドギャップ、及び前記島状結晶を構成する前記第 5 の窒化物半導体のバンドギャップが、この順に大きいことを特徴とする、半導体発光素子。

【請求項 2】 前記下地層を構成する前記第 1 の窒化物半導体における A l 含有量が、5 0 原子%以上であることを特徴とする、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 3】 前記下地層を構成する前記第 1 の窒化物半導体は、A l N であることを特徴とする、請求項 2 に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】 前記第 1 の導電層を構成する前記第 2 の窒化物半導体は、少なくとも A l を含むことを特徴とする、請求項 1 ～ 3 のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 前記第 1 の導電層を構成する前記第 2 の窒化物半導体における A l

含有量が、50原子%以上であることを特徴とする、請求項4に記載の半導体発光素子。

【請求項6】前記第1の導電層を構成する前記第2の窒化物半導体は、AlNであることを特徴とする、請求項5に記載の半導体発光素子。

【請求項7】前記下地層を構成する前記第1の窒化物半導体は、MOCVD法により1100℃以上の温度で形成されたことを特徴とする、請求項1～6のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項8】前記下地層を構成する前記第1の窒化物半導体は、MOCVD法により1100℃～1250℃の温度で形成されたことを特徴とする、請求項7に記載の半導体発光素子。

【請求項9】前記基板はサファイア単結晶基板からなり、前記下地層は、前記サファイア単結晶基板の主面に対して表面窒化処理が施されることにより形成された表面窒化層を介して、前記サファイア単結晶基板の前記主面上に形成されていることを特徴とする、請求項1～8のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項10】前記第1のクラッド層を構成する前記第3の窒化物半導体の面内格子定数と、前記島状結晶を構成する前記第5の窒化物半導体の面内格子定数との差が、前記第3の窒化物半導体の面内格子定数を基準として、0.4～14%であることを特徴とする、請求項1～9のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項11】前記複数の島状結晶の大きさが一定の広がりを持って分布し、前記発光層全体として任意の色度の光を生成することを特徴とする、請求項1～10のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項12】前記複数の島状結晶の底面の直径が5nm～30nmで分布し、前記複数の島状結晶のそれぞれが任意波長の光を発光し、前記発光層全体として白色光を生成することを特徴とする、請求項11に記載の半導体発光素子。

【請求項13】前記複数の島状結晶は、前記発光層を構成する前記基層中において複数の段状に分布するとともに、前記複数の島状結晶の大きさが一定の広がりを持って分布し、前記発光層全体として任意の色度の光を生成することを特徴とする、請求項1～10のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項14】前記発光層を構成する前記基層中の、前記複数の段のそれぞれに

位置する前記複数の島状結晶の平均の大きさが、前記複数の段間において一定の広がりを持って分布していることを特徴とする、請求項 1 3 に記載の半導体発光素子。

【請求項 1 5】前記発光層を構成する前記基層中の、前記複数の段のそれぞれに位置する前記複数の島状結晶の底面における平均直径が、前記複数の段間において 5 nm ～ 3 0 nm で分布しており、前記複数の段のそれぞれに位置する前記複数の島状結晶毎に任意波長の光を発し、前記発光層全体として白色光を生成することを特徴とする、請求項 1 4 に記載の半導体発光素子。

【請求項 1 6】前記発光層を構成する前記基層中の、前記複数の段のそれぞれに位置する前記複数の島状結晶の大きさが、前記複数の段のそれぞれにおいて一定の広がりを持って分布していることを特徴とする、請求項 1 3 に記載の半導体発光素子。

【請求項 1 7】前記下地層を構成する前記第 1 の窒化物半導体中の Al 含有量が、前記基板側から前記第 1 の導電層に向かって連続的又はステップ状に減少していることを特徴とする、請求項 1 ～ 1 6 のいずれか一に記載の半導体発光素子。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子に関し、詳しくは白色発光ダイオードなどとして好適に用いることのできる半導体発光素子に関する。

#### 【0 0 0 2】

【従来の技術】近年、様々な色の発光ダイオード（LED）の需要が増大している。LED は消費電力が少なく、寿命も長いため、これまでのような単なる表示用の LED としてだけではなく、消費電力の低減、エネルギー消費削減に伴う CO<sub>2</sub> 削減の観点から、照明用としてその需要増加が期待されている。

【0 0 0 3】LED としては、これまで、GaAs 系、AlGaAs 系、GaP 系、GaAsP 系、InGaAlP 系などで、赤色から黄緑色までの LED が実用化され、特に表示用として様々な用途に用いられてきた。近年、GaN 系において青色、緑色の LED が実現されたことから、LED でほぼ全色がそろい、全ての色で表示ができるようになった他、フルカラーディスプレイも実現できる



ようになった。また、'RGB'を用いた白色LEDや、青色LEDの上に黄色の蛍光体をまぶし、二色をもとにした白色LEDが実用化されるにいたり、LEDによる照明が実現されつつある。

【0004】しかし、RGBを用いた白色LEDはそれぞれ異なるLEDチップを用い、コスト高となるため、照明用として実用化するのは困難と見られている。また、二色白色LEDは、三原色でないため、この白色光のもとでは、フルカラーが認識できないという問題点がある。また、その輝度についてもまだ25 lm/W程度しか実現されておらず、蛍光灯の90 lm/Wには及んでいない。

【0005】以上のことから、三原色でより高効率のLEDが、低エネルギーで環境問題が解決できる照明用として、全世界で渴望されている。実際、このような白色照明用のLEDを実現するために、日本におけるナショプロだけではなく、米国、欧州でも多くの大手電気メーカーが積極的に開発に乗り出しているところである。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】三原色以上の白色LEDを作製するためには、紫外LEDを作製して、この紫外線により三原色の蛍光体を発光させて白色LEDを得る試みがなされている。しかし、この方法は、蛍光灯と基本的に原理を用いており、蛍光灯における水銀放電の紫外発光を紫外LEDに置き換えるものである。このため、三原色の蛍光体を別途必要とする点から、コスト的なデメリットがある。また、GaN系では青色LEDができているが、紫外LEDのように短波長化すると、青色LEDに比べて発光効率が激減するという問題がある。

【0007】この発光効率の激減については、以下のように考えられている。GaN系のエピタキシャル膜をサファイアなど格子定数が一致しない基板上に成長させると、エピタキシャル膜と基板の界面にミスフィット転位が発生し、これがエピタキシャル膜中、さらにはその上に形成された発光層中に伝播するために、転位密度が著しく増大する。

【0008】しかしながら、サファイア基板上に作製したGaN系の青色、緑色



の発光ダイオードでは、発光層として用いる  $\text{InGaN}$  系のエピタキシャル層の中で、 $\text{In}$  が局在化し、そのためにキャリアが局在化して閉じ込められる。このため、転位が存在する位置までキャリアが移動することなく再結合するため、十分な発光効率を得られる。

【0009】すなわち、転位の存在が発光効率に影響しないのではなく、 $\text{In}$  の局在化に伴いキャリアが局在化され、非発光中心として作用する転位の位置までキャリアが移動する前にキャリアが再結合して発光するため、上記  $\text{GaN}$  系の青色、緑色の発光ダイオードでは十分な発光効率を得ることができるものである。

【0010】しかしながら、紫外  $\text{LED}$  を作製するためには、発光層中の  $\text{In}$  の濃度を低減させることが要求される。このため、 $\text{In}$  の局在化が起こらなくなるため、キャリアの拡散長が長くなり、転位が存在する位置までキャリアが移動するため再結合しやすくなる。したがって、もともと高転位密度である青色  $\text{LED}$  よりも、紫外  $\text{LED}$  では発光効率が大幅に低減される。このため、転位密度の低減を図るべく各種の方法が考案されている。

【0011】例えば、エピタキシャル成長の途中で、 $\text{SiO}_2$  などのストライプのマスクを作製して、エピタキシャル膜／基板界面で発生したミスフィット転位がエピタキシャル膜上に伝播することを防止し、これによって前記マスク上に転位密度が低減された発光層を形成する方法が提案されている。しかしながら、この方法は、プロセスが複雑であり、製造コストが高くなるほか、厚い  $\text{GaN}$  系膜を成長させるため、基板が反ってしまい、実際、デバイスプロセスに使用すると大半の基板が割れてしまうという決定的な問題点があり、実用化を妨げている。

【0012】また、転位密度を低減させるために、 $\text{GaN}$  系の格子整合エピタキシャル成長ができるように、バルクの  $\text{GaN}$  結晶を成長させる試みがなされている。このような方法としては、高圧溶液成長法、気相成長法、フラックス法などがある。しかし、現在のところ、 $\text{LED}$  を工業的に製造できるような大型単結晶の育成にはまだ目処はたっていない。

【0013】さらに、転位密度が低いバルクの  $\text{GaN}$  結晶を得るために、 $\text{HVPE}$  法を用いて、格子整合する酸化物などの基板上に厚い  $\text{GaN}$  単結晶を成長させ、その後、もとの基板を除去して、バルク  $\text{GaN}$  単結晶基板を得る試みもなされ

ているが、未だLEDを工業的に製造できるような高品質の単結晶基板は得られるようになっていない。

【0014】このような状況であるため、紫外LEDを用いて蛍光体を光らせて作る三原色以上の白色LEDについては、高い発光効率が得られる技術的見通しがないという問題がある。

【0015】本発明は、転位密度の大小に関係なく、任意の色度の光を発することのできるLED、特に白色LEDとして好適に使用することが可能な、新規な半導体発光素子を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成すべく、本発明の半導体発光素子は、基板と、この基板上にAlを含む、X線ロックアップカーブにおける半値幅が90秒以下の第1の窒化物半導体からなる下地層と、この下地層上に形成されたAl、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第2の窒化物半導体からなる第1の導電層と、この第1の導電層上に形成されたAl、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第3の窒化物半導体からなる第1のクラッド層と、この第1のクラッド層上に形成された、Al、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第4の窒化物半導体からなる基層中に、Al、Ga、及びInの少なくとも一つを含み、前記第3の窒化物半導体よりも面格子定数の大きい第5の窒化物半導体からなる、それぞれが孤立した複数の島状結晶を含んでなる発光層と、この発光層上に形成されたAl、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第6の窒化物半導体からなる第2のクラッド層と、この第2のクラッド層上に形成されたAl、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第7の窒化物半導体からなる第2の導電層とを具える。そして、前記第1のクラッド層を構成する前記第3の窒化物半導体のバンドギャップ、前記基層を構成する前記第4の窒化物半導体のバンドギャップ、及び前記島状結晶を構成する前記第5の窒化物半導体のバンドギャップが、この順に大きいことを特徴とする。

【0017】この際、第1のクラッド層に導電層としての機能を付与せしめ、第1の導電層を省略することもできる。同様に、第2のクラッド層に導電層としての機能を付与せしめ、第2の導電層を省略することもできる。

【0018】近年においては、発光層として、格子不整合する系で孤立した小さい島状結晶を形成させ、これを発光させてなるLEDについて研究が盛んになされている。そして、この島状結晶の大きさに所定の分布を持たせることによって、島状結晶のそれぞれから任意波長の光を発光させ、これを合成することによって前記発光層全体として任意の色度の光又は白色光を生成することが考えられている。

【0019】しかしながら、発光層に対する下地層の低結晶性に依存して、孤立した小さい島状結晶を作製しても、下地層に存在する転位が島状結晶中にも伝播してしまう。このため発光層の結晶性が劣化して発光効率が減少するため、上述したような半導体発光素子は実現されるには至っていない。

【0020】そこで本発明者らは、発光層を構成する島状結晶の結晶性を改善すべく鋭意検討を実施した。そして、前記発光層の結晶性に影響を与える下地層の結晶性を改善することを試みた。

【0021】従来、半導体発光素子の下地層はバッファ層としての役割が重視されていたため、前記下地層の結晶性については重視されていなかった。さらに、前記バッファ層としての効果を十分に発揮するには、ある程度結晶性の劣化した下地層が望まれていた。

【0022】これに対して本発明者らは、Alを含む窒化物半導体を構成材料とする半導体発光素子においては、上記下地層の結晶性をある程度高くしても、そのバッファ層としての作用が失われないことを見出した。すなわち、従来の常識に反して、前記下地層の結晶性をある程度向上させても、バッファ層としての効果が失われないことを見出した。

【0023】したがって、上述したように、本発明の半導体発光素子におけるAlを含む下地層の結晶性をX線ロックアップカーブにおける半値幅で90秒以下に高めることによって、上記バッファ層としての機能を失うことなく、前記発光層を構成する前記島状結晶の結晶性を高めることができることを見出したものである。

【0024】なお、本発明においては、クラッド層を構成する第3の窒化物半導体の面内格子定数に対して、島状結晶を構成する第5の窒化物半導体の面内格子

定数が大きくなるようにしている。このように圧縮応力の働く条件下では、窒化物半導体がドット状に形成されて、上記のような島状結晶が形成されるものである。

【0025】このため、本発明の半導体発光素子によれば、前記島状結晶のそれぞれの大きさを適宜に調節することにより、各島状結晶から任意波長の光を発光させることができ、これによって発光層全体として実用に足る効率で任意の色度の光あるいは白色光を生成及び発光させることができるものである。

【0026】したがって、MOCVD法においては、温度、V族供給原料／III族供給原料比、圧力の少なくとも1つを制御することにより、前記複数の島状結晶それぞれの大きさを任意に制御できるものである。

【0027】また、前記第1のクラッド層を構成する前記第3の窒化物半導体のバンドギャップ、前記基層を構成する前記第4の窒化物半導体のバンドギャップ、及び前記島状結晶を構成する前記第5の窒化物半導体のバンドギャップの大きさに対する上記順列は、前記島状結晶を構成する前記第5の窒化物半導体をエネルギー的に閉じ込めて、前記島状結晶からの発光を実現させるために要求されるものである。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に即して詳細に説明する。

図1は、本発明の半導体発光素子の一例を示す断面図である。

【0029】図1に示す半導体発光素子20は、基板1と、この基板1上に第1の窒化物半導体としてAlNからなる下地層2と、この下地層2上に形成された第2の窒化物半導体としてn-AlGaInからなる第1の導電層3とを含む。さらに、この第1の導電層3上に形成された第3の窒化物半導体としてn-AlGaInからなる第1のクラッド層4と、このクラッド層4上に形成された発光層5と、この発光層5上に形成された第6の窒化物半導体としてp-AlGaInからなる第2のクラッド層6とを含む。また、この第2のクラッド層6上に形成された第7の窒化物半導体としてp-GaNからなる第2の導電層7を具えている。

【0030】第1の導電層3の一部は露出しており、この露出した表面にはAl

／Ptなる構成のn-電極8が形成されている。また、第2の導電層7上にはAu／Niなる構成のp-電極9が形成されている。

【0031】図2は、図1に示す半導体発光素子20における発光層5の部分を拡大して示す図である。図2から明らかなように、発光層5は、第4の窒化物半導体としてi-GaNからなる基層17中に、第5の窒化物半導体としてi-AlGaInNからなる島状結晶12-1～12-5が形成されている。

【0032】なお、図1及び2においては、本発明の特徴を明確に説明すべく、各構成部分については実際のものと異なるように記載している。

【0033】図1に示す半導体発光素子20における下地層2は、本発明にしたがってX線ロックアップカーブにおける半値幅が90秒以下であることが必要であり、さらには50秒以下であることが好ましい。これによって、発光層5を構成する島状結晶12-1～12-5中の転位密度が減少して良好な結晶性を有するようになるため、半導体発光素子20の発光効率が増大する。

【0034】また、下地層2におけるX線ロックアップカーブの半値幅の下限については特に限定されるものではないが、下地層2のバッファ層としての役割を考慮すると10秒であることが好ましい。

【0035】このようにAlを含んだ結晶性の高い下地層を得るには、所定の原料供給ガスを用い、MOCVD法によって好ましくは下地基板を1100℃以上、さらに好ましくは1150℃以上に加熱することによって形成する。従来の半導体発光素子における下地層の形成温度は500～700℃であり、この形成温度と比較して上記形成温度が極めて高いことが分かる。すなわち、MOCVD法において従来と全く異なる条件を採用することによって、本発明の条件を満足する結晶性に優れた下地層を形成することができる。

【0036】また、下地層の形成温度の上限については特に限定されるものではないが、好ましくは1250℃である。これによって、下地層を構成する窒化物半導体の材料組成などに依存した表面の荒れ、さらには下地層内における組成成分の拡散を効果的に抑制することができる。これによって、前記下地層を構成する窒化物半導体の材料組成によらずに、前記下地層の結晶性を良好な状態に保持することが可能となるとともに、表面の荒れに起因する発光層の結晶性の劣化を



効果的に防止することができる。なお、上記温度は、基板の設定温度である。

【0037】また、下地層の厚さは $0.5\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、さらには $1\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ であることが好ましい。下地層上に形成する導電層、クラッド層、及び発光層の結晶性を向上させるには、前記下地層を厚く形成することが好ましい。しかしながら、前記下地層が厚くなり過ぎると、クラックが発生したり剥離が生じたりする場合がある。したがって、特に、上述した温度範囲の作製温度を選択し、高結晶性の下地層を作製する際には、その厚さを上述したような範囲に設定する。

【0038】また、本発明の半導体発光素子においては、上述したように、第1のクラッド層4を構成する第3の窒化物半導体の面内格子定数に対して、島状結晶12を構成する第5の窒化物半導体の面内格子定数が大きいことが必要である。具体的には、これらの面内格子定数差が、第1の窒化物半導体の格子定数を基準として $0.4\sim 14\%$ であることが好ましく、さらには $2\sim 8\%$ であることが好ましい。これによって、通常のMOCVD法によって簡易に島状結晶を形成することができる。

【0039】上述したように、本発明の半導体発光素子20においては、例えば、発光層5を構成する島状結晶12-1～12-5の大きさを任意に制御し、一定の広がりをもつように形成することにより、各島状結晶からの発光波長を任意に制御することができ、発光層5全体として任意の色度の光を生成及び発光させることができる。

【0040】具体的には、島状結晶12-1～12-5の底面の直径を $5\text{nm}\sim 30\text{nm}$ の大きさで分布させることにより、島状結晶のそれぞれが任意の波長の光を発するようになり、発光層5全体として白色光を生成することができる。

【0041】前者のような分布をもつ島状結晶を形成するためには、上述したように、MOCVD法における、温度、V族供給原料／III族供給原料比、圧力などを適宜に調節することによって得ることができる。

【0042】図3は、図2に示す発光層の変形例を示す図である。

図3に示す発光層5においては、発光層18を構成する基層18中に島状結晶13-1～13-5、14-1～14-5及び15-1～15-5が段状に形成

されている。このように、島状結晶を多段に形成することにより、島状結晶の大きさに対する分布幅の自由度が増すため、各島状結晶の大きさ制御の自由度が増大して、広範囲の色度の光を簡易に生成及び発光させることができる。

【0043】具体的には、島状結晶13-1～13-5の底面における平均直径と、島状結晶14-1～14-5の底面における平均直径と、島状結晶15-1～15-5の底面における平均直径とを、5nm～30nmの大きさで分布させることにより、各段に位置する複数の島状結晶毎に任意波長の光を発するようになるため、発光層5全体として白色光を生成することができる。

【0044】上記のような分布を有する島状結晶を形成するためには、上述したように、MOCVD法における、温度、V族供給原料／III族供給原料比、圧力などを適宜に調節することによって得ることができる。

【0045】また、図3に示すような発光層5において、各段に位置する島状結晶13-1～13-5などを、それらの大きさが一定の広がりを持つように分布させることによっても、図2において説明したように、任意の色度の光を生成させることができる。

【0046】なお、この際においては、図2において説明した方法に準ずることによって、各段毎に白色の光を生成することができ、これによって発光層5全体として白色光を生成及び発光させることができる。

【0047】第1の窒化物半導体からなる下地層を比較的厚く形成した場合においては、この下地層に対して第2の窒化物半導体からなる第1の導電層からの引張応力が増大して前記下地層にクラックが発生してしまう場合がある。

【0048】このため、特に下地層の厚さがクラックが入る程度まで厚く形成された場合については、本発明の半導体発光素子の下地層を構成する第1の窒化物半導体は、その成分として含まれるA1の含有量が、基板側から第1の導電層に向かって連続的又はステップ状に減少していることが好ましい。これによって、下地層の、第1の導電層に対する近傍におけるA1含有量が減少し、この近傍部分と第1の導電層とのA1含有量の差が減少する。

【0049】したがって、下地層と第1の導電層との界面における格子定数差が減少するため、上記のように下地層の厚さが増大してもクラックの発生を効果的



に防止することができる。なお、上記 Al 含有量の変化の度合いは、下地層中におけるクラックの発生を防止すべく任意に設定することができる。

【0050】また、本発明における窒化物半導体は、Al、Ga、及びInの少なくとも一つを含むことが必要であるが、必要に応じてGe、Si、Mg、Zn、Be、P、及びBなどの添加元素を含むことができる。また、意識的に添加した元素に限らず、成膜条件、原料、及び反応管材質に含まれる微量不純物を含むこともできる。そして、第1の窒化物半導体から第7の窒化物半導体は、各層のバンドギャップなどを考慮して上記要件を満足する範囲内で任意の組成を有することができる。

【0051】また、基板としては、サファイア単結晶、ZnO単結晶、LiAlO<sub>2</sub>単結晶、LiGaO<sub>2</sub>単結晶、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>単結晶、MgO単結晶などの酸化物単結晶、Si単結晶、SiC単結晶などのIV族あるいはIV-IV族単結晶、GaAs単結晶、AlN単結晶、GaN単結晶、及びAlGaN単結晶などのIII-V族単結晶、ZrB<sub>2</sub>などのホウ化物単結晶などの、公知の基板材料から構成することができる。

【0052】特にサファイア単結晶基板を用いる場合については、前記III族窒化物下地膜などを形成すべき主面に対して表面窒化処理を施すことが好ましい。前記表面窒化処理は、前記サファイア単結晶基板をアンモニアなどの窒素含有雰囲気中に配置し、所定時間加熱することによって実施する。そして、窒素濃度や窒化温度、窒化時間を適宜に制御することによって、前記主面に形成される窒化層の厚さを制御する。

【0053】このようにして表面窒化層が形成されたサファイア単結晶基板を用いれば、その主面上に直接的に形成される下地層の結晶性をさらに向上させることができる。さらに、より厚く、例えば上述した好ましい厚さの上限値である3  $\mu$ mまで、特別な成膜条件を設定することなく簡易に厚くすることができるので、厚さ増大に起因した結晶性の向上をも簡易に実現させることができる。

【0054】このように、サファイア単結晶基板の主面に表面窒化層を形成することによって、その上に形成する下地層の結晶性が向上するので、導電層、クラッド層、及び発光層を含めた半導体発光素子全体の結晶性をさらに向上させるこ

とができる。

【0055】また、この場合において、III族窒化物下地膜を形成する際の温度も、上記好ましい温度範囲において1200℃以下、あるいは1150℃程度まで低減しても、本発明の高結晶性のIII族窒化物膜を簡易に形成することができる。

【0056】前記表面窒化層は、比較的厚く、例えば、ESCA分析によって、前記主面から1nmの深さにおける窒素含有量が5原子%以上となるように厚く形成することが好ましい。

【0057】また、図1に示すような本発明の半導体発光素子は、下地層、第1の導電層、及び発光層について上述した要件を満足する限りにおいて、通常の方法にしたがって製造することができる。

【0058】

【実施例】

2インチ径の厚さ500μmのサファイア基板を $H_2SO_4 + H_2O_2$ で前処理した後、MOCVD装置の中に設置した。MOCVD装置には、ガス系として $H_2$ 、 $N_2$ 、TMA、TMI、TMG、 $Cp_2Mg$ 、 $NH_3$ 、 $SiH_4$ が取り付けられている。 $H_2$ を流速10m/secで流しながら、基板を1200℃まで昇温した。

【0059】最初に、アンモニアガス( $NH_3$ )を水素キャリアガスとともに5分間流し、前記基板の主面を窒化させた。なお、ESCAによる分析の結果、この表面窒化処理によって、前記主面には窒化層が形成されており、前記主面から深さ1nmにおける窒素含有量が7原子%であることが判明した。

【0060】次いで、TMAと $NH_3$ を平均流速10m/secで流して、下地層としてのAlN層を厚さ1μmまで成長させた。このAlN層のX線回折ロックキングカーブの半値幅は90秒で、良質のAlN層ができることがわかった。

【0061】次いで、成長させたAlN層を保護するために、TMGと $NH_3$ を平均流速10m/secで流して、GaN膜を厚さ100Å成長させた。成長終了後、AlN層とGaN膜のついた基板を取り出し、これをMBE装置の中に設置した。

【0062】MBE装置の固体源としては、7NのGa、7NのIn、6NのA

1、窒素源としては、S V T A 社の高周波プラズマ装置により発生した原子状窒素を用いた。また、ドーパント源としては、n型のためのSiとp型のためのMgの固体源を設けた。

【0063】まず、基板を900℃まで加熱した後、 $H_2$ と $NH_3$ を流すことにより保護層となっていたGaN膜を除去した。その後、基板を1000℃まで加熱して30分保持することにより表面の平坦化をした後、第1の導電層として750℃でSiをドーブしたn-AlGaN層を厚さ1 $\mu m$ 成長させた。

【0064】次いで、このn-AlGaN層上に、第1のクラッド層として760℃でSiをドーブしたn-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層を厚さ1000Åに成長させた。その後、この上に発光層を構成する島状結晶を、700℃でIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nから厚さ100Å、平均直径100Åで成長させた。その後、発光層を構成する基層を、前記孤立した島状結晶を埋め込むように、GaN層を750℃で厚さ200Åで成長させた。

【0065】次いで、GaN層上に第2のクラッド層として、780℃でMgをドーブしたp-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層を厚さ50Å成長させ、最後に第2の導電層として780℃でMgをドーブしたp-GaN層を厚さ2000Å成長させた。

【0066】成長終了後、上記のようにして形成した多層膜の一部を第1の導電層が露出するまで除去し、第2の導電層としてのp-GaN層上にAu/Niからなるp-電極を形成し、露出した第1の導電層としてのn-GaN層の表面上にAl/Tiからなるn-電極を形成した。

【0067】その後、前記p-電極及び前記n-電極間に電圧3.5Vを印加し、電流20mAを流したところ、高効率の青色発光を確認した。すなわち、本発明の半導体発光素子が実用的な素子として動作できることが確かめられた。したがって、上記島状結晶の大きさの分布を適宜調節することにより、白色発光することが可能な半導体発光素子を提供できることが分かる。

【0068】以上、具体例を挙げながら、本発明を発明の実施の形態に即して詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。

【0069】例えば、図1に示す半導体発光素子及び実施例に示す半導体発光素

子においては、発光層5を中心として下側の層をn型とし、上側の層をp型としているが、両者を逆転させて形成することもできる。また、図3においては、島状結晶を3段に形成しているが、2段あるいは4段以上に形成することもできる。

【0070】さらに、上記実施例では、AlN下地層とAlGaIn導電層など異なる装置を用いて作製しているが、同一の装置を用い、外部へ取り出すことなく連続的に作製することもできる。また、上記実施例では、AlN下地層上に直接AlGaIn導電層などを形成したが、さらなる結晶性の向上を目指して、界面近傍に温度、流量、圧力、原料供給量、及び添加ガス量などの成膜条件を変化させてバッファ層を挿入したり、ひずみ超格子などの多層積層膜を挿入することもできる。

【0071】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の半導体発光素子は、発光層を窒化物半導体からなる互いに孤立した複数の島状結晶から構成するとともに、下地層を高結晶窒化物半導体から構成している。したがって、前記複数の島状結晶の結晶性を向上させることができ、上記のような複数の島状結晶からなる発光層を具える半導体発光素子の発光効率を増大させることができる。

【0072】このため、このような発光層を具える実用的な半導体発光素子を提供することができ、前記複数の島状結晶の大きさを適当な分布を持って形成することにより、実用に足る白色発光の半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の半導体発光素子の一例を示す断面図である。

【図2】 本発明の半導体発光素子における発光層部分を拡大して示す図である。

【図3】 本発明の半導体発光素子における発光層部分の他の例を拡大して示す図である。

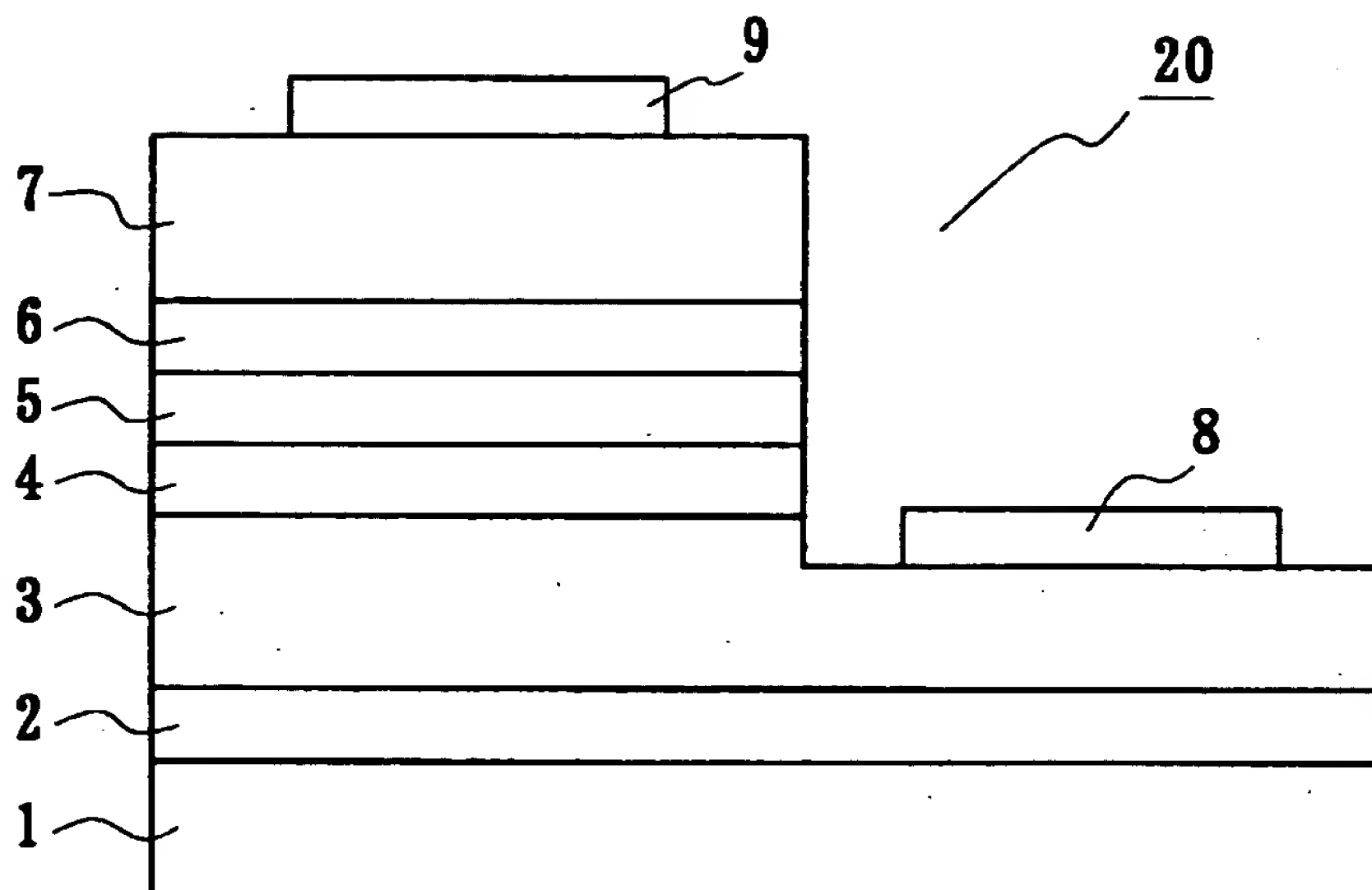
【符号の説明】

1 基板、2 下地層、3 第1の導電層、4 第1のクラッド層、5 発光

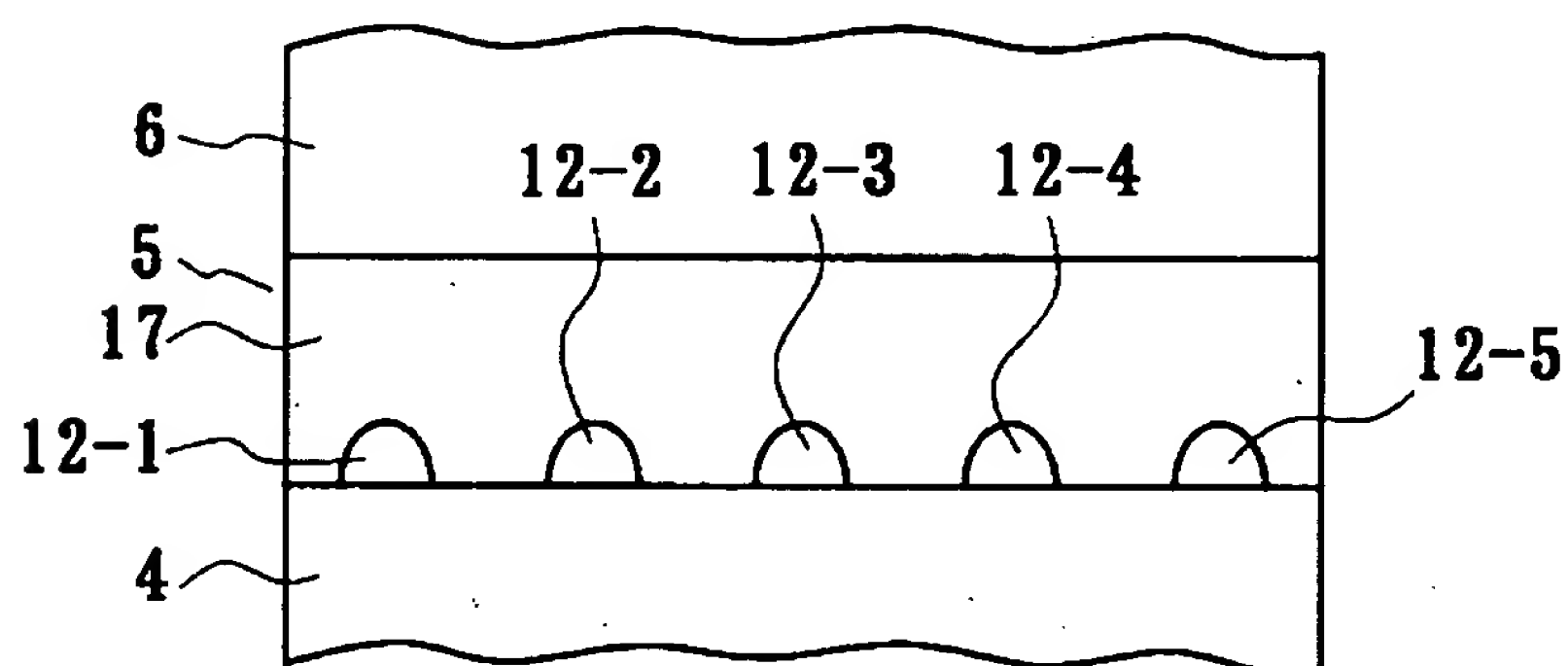
層、6 第2のクラッド層、7 第2の導電層、8, 9 電極、12-1~12-5, 13-1~13-5, 14-1~14-5, 15-1~15-5 島状結晶、17, 18 基層、20 半導体発光素子

【書類名】 図面 . . .

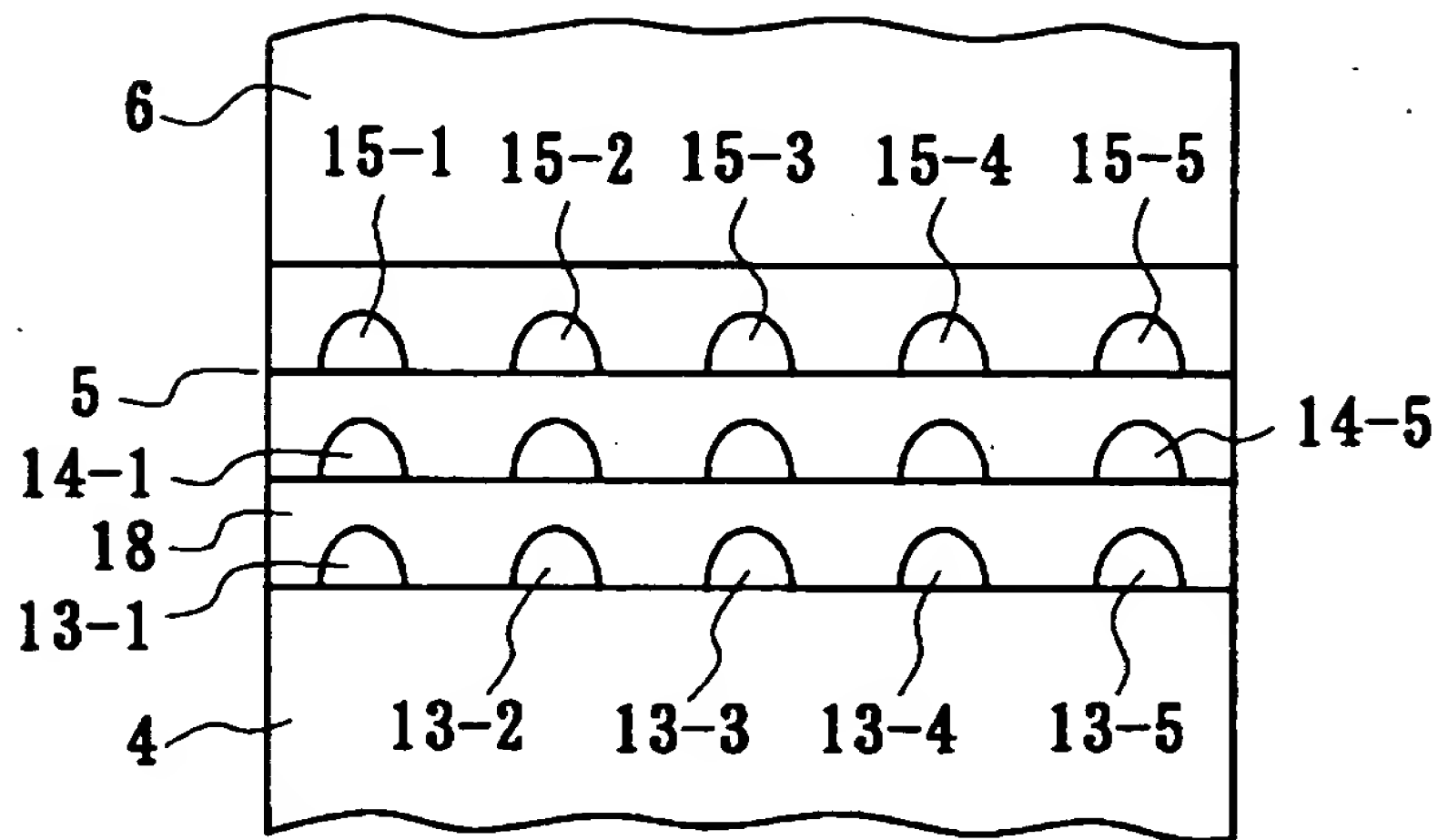
【図 1】



【図 2】



【図 3】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 転位密度の大小に関係なく、白色LEDとして好適に使用することが可能な新規な半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 半導体発光素子20を構成する下地層2を、X線ロックアップカーブにおける半値幅が90秒以下の高結晶AlN層から構成し、第1のクラッド層4をn-AlGaInNから構成する。また、発光層5をi-GaNからなる基層17と、この基層中に、互いに孤立するようにして形成されたi-AlGaInNからなる島状結晶12-1～12-5とから構成する。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2001-321052
受付番号	50101541905
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成13年10月23日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000004064
【住所又は居所】	愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
【氏名又は名称】	日本碍子株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】	100072051
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3-2-4 霞山ビル7階
【氏名又は名称】	杉村 興作

【選任した代理人】

【識別番号】	100059258
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3-2-4 霞山ビル7階
【氏名又は名称】	杉村 暁秀

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004064]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号

氏 名 日本碍子株式会社